

Laboratorio Remoto eLab3D: Un entorno innovador para el aprendizaje de competencias prácticas en electrónica

Remote Laboratory eLab3D: An innovative environment for learning practical skills in electronics

Sergio López, Antonio Carpeño, Jesús Arriaga, Guillermo de Arcas, Daniel Contreras, José Salazar y Miguel Barras
sergio.lopez@upm.es, antonio.cruiz@upm.es, jesus.arriaga@upm.es, g.dearcas@upm.es, daniel.contreras@upm.es,
josecarlos.salazar@upm.es, mbarras0@alumnos.upm.es

Departamento de Sistemas Electrónicos y de Control
Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación
(antigua EUITT Telecomunicación)
Madrid, España

Resumen- Este artículo muestra la utilización de las nuevas tecnologías al servicio del aprendizaje de competencias prácticas en electrónica, siendo un ejemplo de adaptación de los recursos educativos a diferentes contextos y necesidades. Se trata de un laboratorio remoto en el que la adecuada complementación de un hardware configurable y un software de última generación permite al estudiante realizar prácticas de electrónica y diseño de circuitos en un mundo virtual 3D. El usuario dispone de un avatar e interactúa con replicas virtuales de instrumentos, placas de circuitos, componentes o cables de forma muy similar a como se opera en un laboratorio presencial. Pero lo realmente destacable es que el usuario manipula instrumentación y circuitos que están ubicados en un laboratorio real. Todo ello se ha conseguido con un sistema escalable y de bajo coste. Finalizado el diseño y desarrollo de la plataforma se han realizado las primeras pruebas con estudiantes, profesores y profesionales para valorar su percepción respecto al uso de eLab3D, obteniéndose unos resultados muy positivos.

Palabras clave: Enseñanza no presencial, laboratorio remoto, diseño de circuitos, electrónica, mundos virtuales

Abstract- This article presents how new technologies can be used at the service of the learning of practical skills in electronics, as an example of the adaptation of the educational resources to different contexts and needs. It is a remote laboratory with a suitable complementation of a configurable hardware and software of the latest generation that enables students to carry out experiments in electronics circuits design using a 3D virtual world. The user has an avatar and interacts with virtual replicas of instruments, circuits, components or cables in a very similar way as he/she operates in a hands-on laboratory. However, the most outstanding feature is that the user manipulates instrumentation and circuits that are located in a real laboratory. All this has been achieved with a scalable and low cost system. Once the design and development of the platform was finished, initial tests with students, teachers and professionals were carried out to assess their perception regarding the use of eLab3D. The obtained results were very positive.

Keywords: e-learning, remote laboratory, circuit design, electronics, virtual worlds

1. INTRODUCCIÓN

La formación mediada por Internet se ha instalado en nuestra cultura y poco a poco va ofreciendo nuevas posibilidades que le posiciona de forma competitiva en escenarios reservados exclusivamente a la enseñanza presencial. Uno de ellos es el de la adquisición de resultados de aprendizaje propios de laboratorios y el desarrollo de competencias prácticas.

En una fase inicial surgieron los "laboratorios virtuales" sustentados en "simuladores" más o menos potentes que intentaban replicar el mundo real (Cortez, Esche, Chassapis, Ma, & Nickerson, 2011). Nadie duda de la aportación que supusieron estas soluciones, pero también es justo reconocer sus intrínsecas limitaciones por lo que suponía de simplificación de la realidad y en la mayoría de los casos por limitar de forma significativa el protagonismo del estudiante y su capacidad de interactuar con el entorno y, lo que es más importante, con otras personas con las que compartir un aprendizaje cooperativo.

En este sentido, la aparición de los laboratorios remotos, como el que en este artículo se presenta, ha supuesto un salto cualitativo y una solución mucho más rica en matices para el usuario.

Otro de los puntos débiles asociados a la formación mediada por Internet es la motivación del estudiante, debilitada por la sensación de aislamiento y de la frialdad que supone la interacción numérica o con escasos recursos gráficos (Wankel y Kingsley, 2009).

La solución propuesta en este artículo, supone también en este aspecto un importante avance, no sólo por las posibilidades de interactuar en tiempo real del usuario con su "compañero y profesores de laboratorio" sino por la riqueza gráfica que le permite identificarse con un avatar para desplazarse y manipular objetos en un mundo 3D. En la Figura 1 se muestra cómo varios usuarios trabajan en sus puestos de laboratorio teniendo la posibilidad de comunicarse entre ellos y con el profesor.



Figura 1. Avatares trabajando en sus puestos de laboratorio

A la hora de diseñar un laboratorio remoto es muy importante tener en cuenta que la complejidad tecnológica que soporte el mismo nunca debe ser una excusa para ralentizar el comportamiento del sistema de cara al usuario ni restringir de forma significativa el número de usuarios concurrentes que pueden trabajar simultáneamente. En este sentido cabe destacar que las experiencias llevadas a cabo con el laboratorio remoto elab3D, han permitido concluir que los tiempos de respuesta del sistema no constituyen ningún obstáculo aunque se utilice simultáneamente por varias personas.

Por último es conveniente destacar que el hardware y software que constituyen la plataforma se han desarrollado con unos requerimientos tales que le permiten ser reutilizable para otras aplicaciones en contextos docentes e industriales. Este hecho unido a la posibilidad de concurrencia afecta positivamente al coste de la solución propuesta.

2. CONTEXTO

Siendo esencial en la formación de Técnicos e Ingenieros Electrónicos el disponer de un laboratorio de Electrónica y diseño de circuitos debidamente equipado (Feisel y Rosa, 2005), es un recurso cuyos costes de instalación y mantenimiento, añadido a su falta de movilidad, limitan su disponibilidad a los posibles usuarios.

El laboratorio remoto elab3D ha sido diseñado para remediar este problema y, sin perder la riqueza pedagógica de un Laboratorio presencial de Electrónica, ofrecer este recurso con la máxima "Flexibilidad". Los principales indicadores de la Flexibilidad alcanzada son los siguientes:

- Disponibilidad.** Como cualquier recurso disponible en la Red que ofrece servicios automáticos, está disponible permanentemente (24/7).
- Accesibilidad.** Admite diferentes tipos de usuarios con diferentes ritmos, necesidades o limitaciones. Cualquier persona con capacidad para manipular unas teclas de ordenador, puede operar con circuitos y equipos de cierta complejidad en elab3D.
- Versatilidad.** Se ofrecen múltiples funcionalidades. Se permite al usuario la posibilidad de cambiar parámetros de configuración en los circuitos e instrumentos y realizar distintas medidas en varios puntos de los circuitos.
- Adaptabilidad.** El laboratorio remoto elab3D lleva asociado diversos recursos complementarios que posibilitan al profesor incorporarlos a diferentes metodologías de enseñanza-aprendizaje y evaluación.

e) **Escalabilidad.** El sistema hardware y las aplicaciones software desarrolladas son modulares permitiendo fácilmente cualquier ampliación. Respecto al hardware esto significa que se puede aumentar el número de prácticas disponibles sin apenas tener que realizar modificaciones en el mismo o incluir nuevos instrumentos de excitación o medida. En cuanto al software se pueden incluir nuevos módulos sin excesivos esfuerzos de programación.

En definitiva, el recurso que se presenta en este artículo está diseñado para una gama muy amplia de usuarios (estudiantes, de formación profesional y de ingeniería, profesionales en cursos de formación continua, formación a medida en empresas, etc.) y este hecho ha obligado a cuidar también la seguridad. No se debe olvidar que el usuario manipula circuitos, componentes e instrumentación reales y por tanto, susceptibles de estropearse con un uso inadecuado. Por ello, el diseño del sistema ha incorporado autoprotecciones (contra cortocircuitos, superación de los valores límites de los componentes y equipos, etc.), advirtiendo al usuario que su acción no es posible en caso de ser agresiva para el sistema.

3. DESCRIPCION

El diseño del laboratorio remoto eLab3D es el resultado del trabajo multidisciplinar de un grupo de profesores con amplia experiencia docente en las áreas de la electrónica analógica y los sistemas automáticos de medida y fuertemente comprometidos en el desarrollo de proyectos de innovación educativa. Asimismo ha sido clave para su desarrollo la consulta de investigaciones centradas en el ámbito de los laboratorios remotos en ingeniería (Gomes y Bogosyan, 2009), (Gravier, Fayolle, Bayard, Ates y Lardon, 2008).

A. Tecnologías involucradas

Debajo de lo que el usuario ve, hay una labor de investigación y desarrollo multidisciplinar relativo a los siguientes ámbitos: diseño de sistemas automáticos de medida, diseño hardware de sistemas electrónicos y diseño de aplicaciones software optimizadas para que faciliten el control, la comunicación y el acceso al laboratorio remoto.

Los elementos clave que constituyen elab3D se muestran en la Figura 2 y son los siguientes:

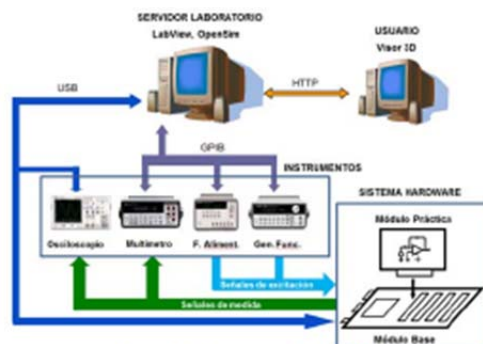


Figura 2. Arquitectura de eLab3D

- **Instrumentos.** Se utiliza el equipamiento propio de un laboratorio de electrónica y diseño de circuitos: fuente de alimentación, generador de señales, osciloscopio y multímetro. Todos ellos se controlan, mediante interfaces GPIB y USB, por el servidor del laboratorio.
- **Sistema hardware.** Incluye un módulo base donde se conectan en diferentes slots los módulos de prácticas en los que se configuran los circuitos con los que el usuario vaya a trabajar. El módulo base contiene como elementos clave un bloque para facilitar la comunicación a través de USB con el servidor del laboratorio (SUB-20 Multi Interface USB Adapter de Xdimax) y dos matrices de conmutación para encaminar las señales de excitación y de medida de los módulos de prueba. Cada módulo de prácticas se ha diseñado para permitir la creación de un gran número de topologías de circuitos en torno a un determinado tipo de componente. Incluyen como elemento clave una matriz de conmutación que realiza la configuración del circuito deseado por el usuario así como la selección de los diferentes puntos de excitación y test. Existen actualmente módulos de prácticas para hacer experimentos con componentes pasivos, diodos, transistores bipolares y unipolares y amplificador operacional.

- **Servidor Laboratorio.** Ordenador donde se ejecutarán las siguientes aplicaciones:

- **Servidor Opensim.** Plataforma de código abierto que se ha utilizado para crear y gestionar el mundo virtual del laboratorio (DeepThink SimHost, 2013). En dicho entorno virtual cada usuario dispondrá de un avatar con el que podrá interactuar con los diferentes objetos y otros usuarios.
- **Controlador LabView.** Incluye una aplicación, desarrollada con el entorno de programación LabVIEW de National Instruments, que se encarga de controlar los instrumentos de medida (osciloscopio y multímetro) y excitación (fuente de alimentación y generador de señal) y el sistema hardware del laboratorio donde se implementan los diferentes circuitos electrónicos. Además para establecer la comunicación entre el mundo virtual creado en Opensim y la aplicación LabVIEW, se ha desarrollado un Servicio Web, también diseñado con el programa LabVIEW, que se encarga de recibir las peticiones HTTP del servidor Opensim y de enviar mediante respuestas HTTP la información facilitada por la aplicación LabVIEW.
- **Visor 3D.** Aplicación, de libre distribución, que se debe ejecutar en la máquina del usuario que permite el acceso al laboratorio y utilizar el avatar del usuario dentro del entorno 3D. Se ha utilizado el visor Firestorm por su facilidad de uso y sus prestaciones a nivel de representación gráfica de los objetos (Phoenix Firestorm Project Inc., 2013). Este visor ofrece diferentes herramientas para comunicarse con otros avatares, desplazarse por el mundo, cambiar la apariencia de los avatares, interactuar con los objetos, etc.

La Figura 3 muestra el sistema real que constituye el laboratorio remoto elab3D y da soporte a las prácticas de los usuarios.

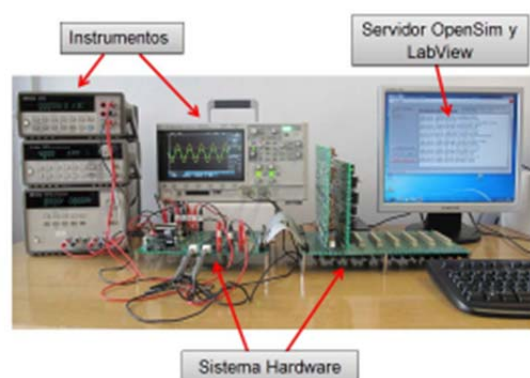


Figura 3. Plataforma elab3D

B. Enfoque Pedagógico

El diseño tecnológico tendría poca utilidad si no hubiera ido acompañado de una intencionalidad pedagógica bien definida y muy orientada por las buenas prácticas aprendidas en los laboratorios presenciales (Cooper, 2005). Destacamos dos características cuyo objetivo es potenciar el aprendizaje activo de los estudiantes:

- 1) **Aprender haciendo.** La Figura 4 muestra el espacio de trabajo del usuario. La secuencia típica de sus acciones es la sucesión de toma de decisiones: elección de la placa de montaje, selección de los componentes con los que diseñar el circuito, elección de las fuentes de excitación y su configuración, elección de los instrumentos de medida y las medidas a realizar, conexión de los instrumentos al circuito y validación de las medidas en relación al estudio previo realizado sobre el funcionamiento del circuito.



Figura 4. Espacio de trabajo virtual del usuario

- 2) **Interrelación con otros estudiantes y con el profesor.** Las herramientas asociadas al entorno virtual hacen factible el aprendizaje cooperativo y que el profesor pueda supervisar y orientar a los estudiantes de forma similar a como lo haría en un laboratorio presencial.

Además se han creado un conjunto de espacios sociales orientados a favorecer el trabajo en grupo.

El visor permite dos formas de comunicación, con el chat público o privado. Para comunicarse con el chat público sólo hay que escribir el mensaje deseado en el espacio reservado para la barra del chat. Cualquier mensaje enviado por este método será público para todos los avatares presentes en el mundo virtual. Los chat privados se realizan seleccionando el avatar con el que se desea establecer la comunicación.

C. Entorno virtual

El entorno virtual que se ha desarrollado está constituido por una región o isla que incluye un edificio principal, el terreno que rodea al edificio y un pequeño parque de esparcimiento. Ubicado en el centro de la isla se encuentra el edificio que alberga las aulas de los diferentes laboratorios (Figura 5.a).

Actualmente el edificio consta de dos plantas. En la planta baja existe un hall y varias salas: laboratorio de Diseño de circuitos y de Electrónica I, sala de videos (Figura 5.b) y sala de I+D. En la primera planta se encuentra el Laboratorio de Electrónica Analógica y una sala de reuniones (Figura 5.c). En cada sala de laboratorio existen varios puestos de laboratorio donde trabajan los estudiantes (Figura 5.d).

Junto a la puerta de cada laboratorio se encuentra un panel informativo con la ocupación de los puestos de laboratorio y un botón de reservas para poder formalizar la reserva de un puesto de laboratorio.

El Laboratorio de Electrónica Analógica dispone de seis puestos de laboratorio donde pueden trabajar los usuarios de forma simultánea realizando diferentes tipos de prácticas.

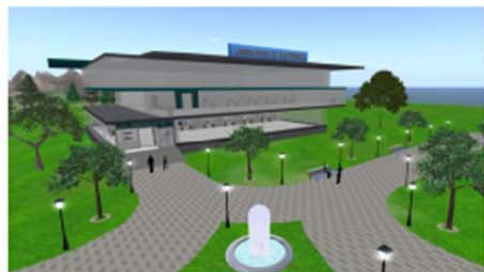
Actualmente están disponibles cuatro tipos de placas de montaje orientadas a la realización de prácticas con:

- Componentes pasivos
- Diodos semiconductores
- Transistores bipolares y unipolares
- Amplificador operacional

En la Figura 6 se muestra la placa de montaje que permite la realización de prácticas basadas en circuitos con diodos (rectificadores, estabilizadores, recortadores, etc.).

Puede consultarse un video donde se muestra la interacción con elab3D en el siguiente enlace:

<http://www.youtube.com/watch?v=e8S5FM3o8AA>



a) Edificio



b) Sala de videos



c) Sala de reuniones



d) Puesto de laboratorio

Figura 5. Infraestructuras disponibles en elab3D



Figura 6. Placa para el montaje de circuitos con diodos

4. RESULTADOS

En Septiembre de 2012 se puso en experimentación de forma escalonada la plataforma eLab3D, con el fin de ir depurando deficiencias del diseño, mejorar la interface con el usuario y sobre todo evaluar su utilidad para el aprendizaje.

La primera experiencia piloto formalizada se llevó a cabo entre noviembre de 2012 y febrero de 2013. En ella participaron 30 personas pertenecientes a diferentes colectivos: estudiantes de la EUIT de Telecomunicación de la UPM, profesores universitarios y de enseñanza secundaria y profesionales no docentes del sector de las telecomunicaciones.

En la experiencia piloto cada participante realizó un tutorial para familiarizarse con la plataforma y una práctica virtual en la que había que realizar las siguientes tareas:

1. Determinar la influencia de la impedancia de salida del generador de funciones utilizado en el laboratorio
2. Determinar la influencia de la impedancia de entrada del osciloscopio utilizado en el laboratorio
3. Analizar el funcionamiento de un filtro básico formado por un resistor y un condensador
4. Detectar una avería en un circuito ya montado que implementa un filtro paso alto

Finalizadas las tareas que constituían la experiencia piloto cada participante completó un cuestionario de 50 preguntas con una escala de Likert, de valoración entre 1 (nada de acuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo).

Dichas preguntas fueron elegidas y agrupadas para valorar los siguientes factores:

- facilidad de utilización
- fiabilidad de la plataforma
- percepción de inmersión
- aprendizaje percibido
- utilidad y satisfacción

Los resultados (valores medios y desviaciones típicas) que se obtuvieron se muestran en la Tabla 1.

Del análisis general de los resultados se desprende que la plataforma eLab3D generó impresiones muy positivas en todos

Tabla 1. Resultados obtenidos en la experiencia piloto (Nov 2012 - Feb 2013)

	Media (Desv. típ)		
	Estudiantes	Docentes	Profesionales
Facilidad de utilización	3,8 (0,6)	3,9 (0,2)	4,1 (0,1)
Fiabilidad	4,2 (0,5)	4,3 (0,7)	4,4 (0,6)
Percepción de inmersión	3,9 (0,4)	4,2 (0,4)	4,1 (0,2)
Aprendizaje percibido	3,2 (1,3)	4,7 (0,3)	4,4 (0,5)
Utilidad	4,2 (0,5)	4,6 (0,2)	4,5 (0,5)
Satisfacción	4,3 (0,5)	4,7 (0,5)	4,4 (0,7)

los colectivos que participaron en la experiencia piloto. Sólo resultó llamativo el dato obtenido en cuanto al aprendizaje percibido por los estudiantes. Este hecho fue analizado con posterioridad con entrevistas personales y se descubrió que varios de los estudiantes no valoraron positivamente el aprendizaje percibido por el tipo de circuitos que se habían elegido para realizar la experiencia, considerados por dichos estudiantes como demasiado sencillos.

Para obtener más resultados sobre la utilidad docente de eLab3D en la actualidad se están llevando a cabo otras experiencias ya vinculadas a programas oficiales de títulos de grado. El análisis e informe de resultados se prevén para finales del año 2013.

5. CONCLUSIONES

El laboratorio remoto eLab3D es una contribución a la formación mediada por Internet que posibilita el estudiante la adquisición de competencias prácticas en el ámbito de la electrónica.

El hardware y software desarrollado constituye un núcleo sobre el cual se puede (y se están) desarrollando nuevas aplicaciones, tanto en línea con los currículos en los cuales se están aplicando, como para otros ámbitos de conocimiento o incluso para aplicaciones industriales.

En este sentido, es de destacar que la plataforma desarrollada ha sido valorada con interés por profesionales ajenos al sector educativo y, como consecuencia del mismo, se ha materializado una colaboración con el Grupo de Investigación en Instrumentación y Acústica Aplicada (I2A2) de la UPM. En concreto se va a diseñar y desarrollar un mundo virtual 3D que facilite el entrenamiento del personal y la difusión de metodologías avanzadas de análisis, adquisición de datos y entornos colaborativos en el ámbito de la fusión termonuclear. Esta iniciativa forma parte del proyecto del Programa Nacional de Proyectos de Investigación Fundamental "Análisis de datos basados en aprendizaje automático y sistemas inteligentes de adquisición de datos: modelos avanzados para entornos de fusión", en el que participan investigadores del CIEMAT, UNED, UPC y UPM.

En el ámbito de la electrónica existen otros laboratorios remotos como VISIR (Tawfik, M., Sancristobal, E., Martín, S., Gil, R., Díaz, G., Peire, J., Castro, M., Nilsson, K., Zackrisson, J., Hakansson, L., & Gustavsson, I., 2013), NetLab (Nedic y Machotka, 2007) o ISILab (Bagnasco, Boccardo, Buschiazzi, Poggi y Scapolla, 2009), frente a los cuales, la propuesta aquí realizada resulta comparable. Un

mayor número de experiencias permitirá sacar conclusiones sobre las ventajas y campos de aplicación en las que cada una de las alternativas existentes sea más adecuada. Las primeras valoraciones recibidas nos señalan que eLab3D va a ser una alternativa que sin duda va a enriquecer el actual panorama de recursos docentes en la enseñanza práctica.

Se han realizado experiencias con eLab3D, basadas en su utilización por profesores en el aula para explicar el funcionamiento de circuitos electrónicos básicos, en los institutos de enseñanza secundaria García Morato de Madrid, María Zambrano de Leganés y Satafi de Getafe, donde se han destacado sus prestaciones educativas, y otras experiencias, en concreto, con la Universidad Tecnológica de Panamá están en fase de preparación. Sin embargo, existen dos ámbitos en los que se deberá trabajar a corto plazo. Por un lado, es la falta de experimentación en programas formativos mayoritariamente a distancia, dado que los estudios realizados hasta la fecha se centran en estudiantes de programas fundamentalmente presenciales. Por otro lado, es el análisis riguroso de las competencias de carácter práctico que es posible alcanzar mediante la utilización del laboratorio remoto eLab3D, el cual permitirá dar respuesta a preguntas que la comunidad científica se viene planteando desde hace tiempo (Lindsay y Wankat, 2012).

Por último en el ámbito del eLearning, hay que destacar que eLab3D es una herramienta que puede contribuir a fomentar el *life-long learning* y el enriquecimiento educativo de los entornos sociales más desfavorecidos. La plataforma desarrollada posibilita el acceso a equipamiento electrónico de altas prestaciones a personas y colectivos a los que, de otra manera, les sería imposible. Con el fin de hacer más global el acceso a este recurso se están dando los primeros pasos para ofertar próximamente un MOOC (Massive Online Open Course) basado en la realización de prácticas relacionadas con el análisis y el diseño de circuitos electrónicos. Asimismo, aprovechando las ventajas que aporta la utilización de visores gratuitos como interfaces comunes de acceso a entornos 3D, conviene mencionar la iniciativa que está llevando a cabo la UPM relacionada con la creación de un *grid* de laboratorios virtuales y remotos que permita la compartición de recursos en diferentes disciplinas de la ingeniería.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de eLab3D ha sido posible gracias a los recursos obtenidos en los proyectos IE095590521, IE105905148 e IE121359002 vinculados a las convocatorias de "Ayudas a la innovación educativa y a la mejora de la calidad de la enseñanza" de la UPM y al apoyo del Departamento de Sistemas Electrónicos y de Control. Asimismo los autores desean expresar su agradecimiento por su colaboración al Servicio de Innovación Educativa de la UPM y particularmente a Raquel Portaencasa, al Gabinete de

Tele-Educación y a los profesores Eduardo Barrera y Mariano Ruiz del Grupo de Investigación I2A2 de la UPM.

REFERENCIAS

- Bagnasco, A., Boccardo, A., Buschiazzi, P., Poggi, A., & Scapolla, A. (2009). A Service-Oriented Educational Laboratory for Electronics. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 56(12), 4768-4775. doi:10.1109/TIE.2008.2002729
- Cooper, M. (2005). Remote laboratories in teaching and learning - issues impeding on widespread adoption in science and engineering education. *International Journal of Online Engineering*, 1(1), 1-7.
- Cortez, J. E., Esche, S. K., Chassapis, C., Ma, J., & Nickerson, J. V. (2011). Process and learning outcomes from remotely-operated, simulated, and hands-on student laboratories. *Computers & Education*, 57(3), 2054-2067. doi:10.1016/j.compedu.2011.04.009
- DeepThink SimHost. (2013). *OpenSimulator*. Recuperado de http://opensimulator.org/wiki/Main_Page
- Feisel, L. D., & Rosa, A. J. (2005). The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. *Journal Of Engineering Education*, 94(1), 121-130.
- Gomes, L., & Bogosyan, S. (2009). Current Trends in Remote Laboratories. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 56(12), 4744-4756. doi:10.1109/TIE.2009.2033293
- Gravier, C., Fayolle, J., Bayard, B., Ates, M., & Lardon, J. (2008). State of the art about remote laboratories paradigms - foundations of ongoing mutations. *International Journal of Online Engineering*, 4(1), 19-25.
- Lindsay, E. D., & Wankat, P. C. (2012). Going the way of the slide rule: can remote laboratories fungibly replace the in-person experience. *International Journal of Engineering Education*, 28(1), 192-201.
- Nedic, Z., & Machotka, J. (2007). Remote laboratory NetLab for effective teaching of 1st year engineering students. *International Journal of Online Engineering*, 3(3), 1-6.
- Phoenix Firestorm Project Inc. (2013). *Firestorm Viewer*. Recuperado de <http://www.firestormviewer.org/>
- Tawfik, M., Sancristobal, E., Martin, S., Gil, R., Díaz, G., Peire, J., Castro, M., Nilsson, K., Zackrisson, J., Hakansson, L., & Gustavsson, I. (2013). Virtual instrument systems in reality (VISIR) for remote wiring and measurement of electronic circuits on breadboard. *IEEE Transactions On Learning Technologies*, 6(1), 60-72.
- Wankat C. and Kingsley J. (2009). *Higher education in virtual worlds. Teaching and learning in Second Life*. Bingley, UK: Emerald.



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 3.0 Unported](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/).

APRENDIZAJE, INNOVACIÓN Y COMPETITIVIDAD.

(II CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE APRENDIZAJE, INNOVACIÓN Y COMPETITIVIDAD. CINAIC 2013)

Edita: Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid.

Libro de Actas CINAIC 2013

Depósito legal: M-30387-2013

ISBN: 978-84-695-8927-4

Madrid: Noviembre de 2013.



Reconocimiento – NoComercial – SinObraDerivada (by-nc-nd):

No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.

Editores literarios: Ángel Fidalgo Blanco y María Luisa Sein-Echaluze Lacleta.

Diseño de Cubierta: María Pilar Sánchez Sarasa. Fotografía cedida por Madrid Visitors & Convention Bureau.